

## ИССЛЕДОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ НА ГИПСОИЗВЕСТКОВОШЛАКОВЫХ ВЯЖУЩИХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Л.И. РЯБОКОНЬ канд. техн. наук, доц.

С.В. БЕДНЯГИН канд. техн. наук, доц.

А.П. ЗАХАРОВ канд. техн. наук, доц.

*Уральский государственный технический университет*

Комплексные исследования по проблемам получения, промышленного производства и применения в строительстве гипсобетона повышенной водостойкости, конструкций и изделий из него проводятся в УПИ-УГТУ с 1953 года по настоящее время, став одним из направлений научно-исследовательской деятельности кафедры Городское строительство. Результаты выполненных работ, накопленный опыт производства и эксплуатации эффективных гипсобетонных конструкций представляют, по нашему мнению, интерес для ученых, строителей, производителей, потенциальных инвесторов, в особенности, при современной ориентации на ресурсосберегающие технологии и материалы, утилизацию техногенных отходов, а также при реализации целевых федеральных и областных программ "Свой дом", "Переработка техногенных образований Свердловской области".

Производство гипсовых вяжущих, гипсовых и гипсобетонных изделий, их применение в строительстве, имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с другими традиционными строительными материалами: низкие удельные вложения в организацию промышленного производства и энергоемкость переработки, высокая оборачиваемость и малая металлоемкость формовочного оборудования за счет быстрого набора прочности в ранние сроки твердения, хорошая звукоизоляция, малая теплопроводность, высокие гигиенические, архитектурно-художественные свойства и огнестойкость. Сырьевые материалы для предприятий по производству гипсовых вяжущих и изделий практически не ограничены, особенно в связи с возможностью

дополнительной переработки и использования таких многотоннажных техногенных образований как продукты производства ортофосфорной кислоты и сложных концентрированных удобрений (фосфогипс ди- и полугидрат), фтористого водорода из плавикового шпата (фторангидрит), очистки различных видов промышленных сточных вод, содержащих серную кислоту (например, титаногипс и др.), очистки отходящих газов (сульфогипсы), пищевых кислот и пищевой промышленности (цитро- и гидролизный гипс) совместно с металлургическими доменными гранулированными шлаками, пемзой, активными золами сухого удаления и золошлаковыми отходами ТЭС и ГРЭС.

Не случайно поэтому широкое распространение производства и применения гипсовых вяжущих и изделий отмечено как в промышленно развитых (США, Япония, Германия, Франция, Англия), так и во многих развивающихся странах.

Наряду с выше перечисленными многими несомненными достоинствами, существенный недостаток чистого гипса - низкая водостойкость и практически отсутствующее сопротивление воздействию длительно действующим нагрузкам в увлажненном состоянии. Это значительно сдерживало его применение в качестве конструкционного материала, в частности, в изгибаемых элементах, наружных и внутренних стеновых конструкциях, выполняющих теплозащитные и несущие функции. В связи с этим, отечественными учеными предложены многочисленные разновидности композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости с использованием в качестве гидравлических или влагозащитных добавок различных минеральных и органических веществ. Наиболее значимое промышленное использование среди них получили гипсоцементнопуццолановые (ГЦПВ) и гипсоизвестковошлаковые (ГИШВ) вяжущие.

Разработке, исследованию свойств ГИШВ и внедрению технологии производства стеновых блоков из легких бетонов на его основе в рамках

комплексной, многоэтапной темы "Крупноразмерные детали и конструкции из водостойкого гипсобетона для индустриального городского, поселкового и сельского строительства и предприятия для их промышленного производства" посвящены многолетние исследования лаборатории гипсобетона кафедры Городского строительства УГТУ-УПИ. Эти работы выполнялись в соответствии с Постановлениями СМ РСФСР, многими целевыми комплексными программами Госстроя СССР, Минвуза РСФСР, Минпромстройматериалов СССР и РСФСР, ряда строительных министерств б.СССР, другими директивными и руководящими документами. В ходе исследований выполнено более 60 госбюджетных и хоздоговорных НИР и ОКР по заказам Росколхозстройобъединения, Госстроя СССР, Минпромстройматериалов РСФСР и СССР, Минцветмета СССР, отраслевых НИИ и КБ, других министерств и ведомств, заводов, хозяйственных организаций и предприятий Свердловской области, Башкирской АССР, гг. Свердловска-Екатеринбурга, Москвы, Перми, Тулы, Казани, Якутска, Ташкента (УзССР), Хмельницкого и Житомира (УССР) и др.

В работах принимали участие преподаватели, сотрудники и студенты восьми факультетов УПИ, Свердловского Архитектурного института, врачи-гигиенисты СЭС, сотрудники ряда специализированных проектных и научно-исследовательских организаций Свердловска, Москвы и Московской области, Уфы, при координирующей и ведущей роли ученых строительного факультета УГТУ-УПИ. Основателем и руководителем Уральского научного направления по гипсовым материалам повышенной водостойкости с 1936 г. являлся доцент кафедры Городского строительства к.т.н. А.А. Антипин. С 1981г. организационное и научное руководство комплексными исследованиями лаборатории осуществляет доцент Л.И. Рябоконт.

Получение научно-обоснованных и достоверных результатов НИР и ОКР по проблеме, достигалось обязательным выполнением крупных этапных блоков работы, включавших:

- изучение в лабораторных условиях свойств исходных материалов (включая сырье и получаемые полуфабрикаты) и их учет при разработке конструкции изделий и строительных элементов зданий и сооружений;
- разработку и строительство опытно-промышленных установок (включая создание новых образцов оборудования) для отработки технологических процессов и выпуска комплектов пионерных образцов продукции, изучения их физико-технических и потребительских свойств;
- проектирование и возведение опытных зданий и сооружений различного назначения, предназначенных для отработки технологии производства строительно-монтажных работ, изучения долговечности и эксплуатационной надежности изделий, конструкций и объектов в целом, исследования их гигиенических и микроклиматических свойств;
- обобщение полученных результатов, разработку нормативно-технической и технологической документации, ее утверждение, технико-экономические расчеты и обоснования инвестиций в промышленное производство вяжущих и изделий на предприятиях различной мощности;
- подготовку исходных данных и осуществление авторского надзора в процессе рабочего проектирования и строительства предприятий;
- участие в подготовке инженерно-технического персонала и рабочих кадров, осуществление шеф-наладки технологии производства продукции;

Так, на различных этапах исследований по исходным данным УГТУ-УПИ совместно с Уфимским трестом № 3 (Башкирия), Свердловским заводом "Строймашина" (1959 г.), КБ треста Уралцветметремонт (1982 г.) были созданы и длительное время эксплуатировались 4 опытно-промышленные установки: УПИ (г. Уфа), УПИ-1 и УПИ-2 на Свердловском заводе гипсовых изделий

(1960-1972 гг.), на которых отрабатывались технологии производства гипсобетонных крупноразмерных стеновых изделий и объемных санитарно-технических кабин, а на установке Среднеуральского медеплавильного завода (1982 - 1985 гг.) - получения гипсового вяжущего повышенной прочности из фосфогипса.

Наличие первых трех установок позволило осуществить экспериментальное строительство 23 усадебных и производственных зданий различного назначения в г. Уфе (ул. Вишерская, 1955 - 1958 гг.), более 80 зданий в Свердловской области (Кадниковский, Шиловский, Красноуфимский, Бродовской совхозы, 1967-1972 гг.), в числе которых 12-и квартирные двухэтажные здания, двухэтажные блокированные здания с квартирами в двух уровнях, одноэтажные многоквартирные дома, административное здание, двухэтажный жилой пристрой к школе-интернату, а также ряд производственных сельских зданий (коровники, свинарники - откормочники) и другие объекты. Изготовленные на СЗГИ в период 1962 - 1965 гг. объемные санитарно-технические кабины демонстрировались на областной строительной выставке установлены и эксплуатируются в жилых зданиях (более 120 шт.).

Одновременно с отработкой технологии изготовления различных изделий, на опытной базе института УралпромстройНИИпроект проводились крупносерийные прочностные исследования натуральных образцов стеновых крупных блоков и фрагментов кладки стен из них.

В этот же период преподавателями и студентами кафедр Городского строительства, Архитектуры, Строительного производства, Строительных конструкций выполнялись десятки реальных курсовых и дипломных проектов по созданию гипсобетонных зданий различного назначения, их инженерному оборудованию по заказам проектных институтов и сельхозуправлений, разрабатывались генеральные планы рабочих поселков и сельских агропромышленных поселений с их применением.

Результаты обобщения исследований в дальнейшем явились основой для проектирования и строительства первого в стране и не имеющего зарубежных

аналогов завода гипсобетонных изделий в г. Красноуфимске Свердловской области (1976 г.), разработок ТЭО для последующего тиражирования предприятий подобного типа с учетом особенностей местной сырьевой базы в других регионах СССР (Тульская, Пермская области и Башкирская АССР России, гг. Хмельницкий и Житомир в Украине, г. Джамбул в Казахстане, Бухарская область в Узбекистане), подготовки и утверждения Технических условий (1976 и 1984 гг.) и Государственного стандарта (1987 г.) на производство и применение гипсовых вяжущих повышенной водостойкости и гипсобетонных блоков для строительства зданий (ведущий разработчик УПИ), методологической базой разработки Уральской серии гипсобетонных сельских зданий (УПИ и институты Свердловскагропромпроект, Уралгипросельхозстрой, ЦНИИ ТБ и ТК, 1981- 1988 гг.).

На базе результатов эксплуатации Красноуфимского завода гипсобетонных изделий и опытно-промышленной установки СУМЗа, в 1984 и 1990 гг. по исходным данным и технологическим регламентам УПИ, проектными специализированными организациями разработаны ТЭО и технические проекты цехов по производству стройматериалов из фосфогипсовых отходов на СУМЗе проектной мощностью 20 и 300 тыс. тонн гипсовых вяжущих различных видов (100 тыс. тонн обычного неводостойкого высокопрочного гипсового вяжущего и 180 тыс. тонн ГИШВ) и 100 тыс.м<sup>2</sup> стеновых изделий в год (эквивалентно выпуску 32 млн. штук условного кирпича). Полученные в процессе опытно-промышленных испытаний фактические технические данные и расчетные характеристики проектных институтов по установкам различной мощности показали, что разработанные технологии по топливно-энергетическим затратам, компактности, оригинальности и надежности технологического оборудования по приготовлению гипсовых вяжущих превосходят некоторые зарубежные аналоги известных гипсовых фирм (например, Бабкок БШХ, Зальцгиттер и др.). Результаты НИР и ОКР, полученные в процессе отработки отдельных узлов и агрегатов технологической линии производства гипсового вяжущего,

явились основой для последующего развития новых перспективных научных направлений на факультете технологии силикатов (воздушные классификаторы сыпучих материалов, руководитель д.т.н. профессор М.Д. Барский) и в институте ВНИИМТ (компактные сушильно-размольные агрегаты многоцелевого назначения, к.т.н. А.М. Штейнберг). Разработки защищены авторскими свидетельствами, некоторые запатентованы за рубежом.

Ниже приводятся краткие данные и характеристики, раскрывающие некоторые особенности ГИШВ, бетонов, изделий и технологии их производства.

В состав ГИШВ входят (масс. %): гипсовое вяжущее ( $\alpha$ -полугидрат сульфата кальция) - 68 -73; молотый кислый гранулированный шлак - 23 -30; молотая негашеная известь - 2-3. Прочность на сжатие в возрасте 2 часа - 6-10 МПа. В отличие от гипсового вяжущего ГИШВ обладает свойством гидравлического твердения, что способствует повышению со временем прочности при сжатии и изгибе, жесткости и водостойкости бетона. Исследованиями долговременной прочности бетонов на ГИШВ установлено, что ползучесть влажного бетона на порядок снижается в процессе его твердения. При этом повышение водостойкости ГИШВ-бетона в сравнении с обычным (неводостойким) гипсобетоном, проявляется в наибольшей степени не в увеличении коэффициента его размягчения, а в резком (на 2 и более порядка) снижении показателей ползучести и наличии долговременной прочности во влажном состоянии. В воздушно-сухом состоянии, т.е. при установившейся влажности, ползучесть бетона незначительна даже при уровнях, близких к призмочной прочности. Благодаря улучшению физико-механических свойств, гипсобетон из преимущественно отделочного становится конструкционным материалом, который успешно используется в несущих конструкциях, в том числе в стенах животноводческих помещений с высокой влажностью среды ( $> 90\%$ ). При этом, в отличие от ГЦПВ, в составе вяжущего полностью отсутствует цемент.

В качестве заполнителя в легких бетонах используется доменный гранулированный шлак, керамзит, другие шлаки и пористые материалы в соотношении к ГИШВ от 1:1 до 2:1. Бетонная смесь близка к литевой. Марки бетона - 50 - 300 (по воздушно-сыхому состоянию) при средней плотности от 1000 до 1700 кг/м<sup>3</sup>. Распалубка изделий производится через 20 - 30 мин после заливки бетона в форму.

Основную номенклатуру гипсобетонных изделий по технологии УПИ составляют крупноразмерные стеновые блоки с унифицированной толщиной 400 мм длиной от 800 до 3600, высотой от 800 до 1600 мм. Блоки имеют крупные вертикальные пустоты (объемная пустотность 35 - 52 %), заполняемые в заводских условиях теплоизоляционным материалом. Средняя плотность блоков с заполненными пустотами - 900 - 1200 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от вида бетона и теплоизоляционного материала. При выборе размеров и номенклатуры блоков учитывались возможности индустриального строительства в сельских условиях, типы жилых домов и других зданий, удобство транспортирования и монтажа.

В настоящее время освоено производство мелких блоков типа "Евроблок" и др. видов. Одно из преимуществ блоков - возможность в достаточно широких пределах варьировать термическое сопротивление стен за счет применения различных эффективных теплоизоляционных материалов заполнения пустот, а также возможной облицовки снаружи в 0,5 - 1,5 кирпича. Стены такой конструкции проверены в суровых эксплуатационных условиях районов Севера Тюменской области (г. Надым).

В технологии производства изделий по разработкам УПИ-УГТУ можно отметить ряд следующих особенностей:

- совмещение производства гипсового вяжущего, ГИШВ, бетона и изделий в едином непрерывном технологическом цикле;
- отсутствие термической обработки или сушки изделий, что ускоряет оборачиваемость форм в 20 - 30 раз в сравнении с производством изделий на цементе;



- применение высокопроизводительного нестандартизированного оборудования, обеспечивающего автоматизацию и механизацию основных технологических процессов.

В 1976 г. пущен в эксплуатацию завод гипсобетонных изделий в г. Красноуфимске Свердловской области. К настоящему времени из продукции завода построены тысячи зданий различной этажности и назначения: жилые дома, общественные здания, школы, детские сады, аптеки, животноводческие комплексы, склады удобрений и зернохранилища, гаражи, мастерские ремонта сельхозтехники и др. помещения. Обследования эксплуатируемых зданий представителями научно-исследовательских и проектных институтов (ЦНИИСК, СибЗНИИЭП, УралпромстройНИИпроект, ЦНИИЭПсельстрой, Свердловскагропромпроект, СвердловлСЭС) подтвердили высокую надежность стеновых гипсобетонных конструкций, благоприятный микроклимат в помещениях, высокие тепло- и звукозащитные качества стен.

Построено также несколько объектов со стенами из бетона на основе ГИШВ из фосфогипса СУМЗа, в том числе и жилое здание, получившее после многосторонних продолжительных исследований, положительное заключение специалистов токсикологической лаборатории Свердловской ОблСЭС.

Эффективность производства гипсобетонных изделий обусловлена использованием не дефицитных местных сырьевых материалов и отходов промышленности, сокращением (по сравнению с производством традиционных материалов) топлива и электроэнергии в 2 - 3 раза, трудозатрат и капиталовложений в 1,5 - 2 раза.

За комплекс работ по внедрению в производство гипсовых вяжущих повышенной водостойкости, блоков на их основе, проектирование и строительство завода группа авторов и разработчиков из УГТУ-УПИ, ряда проектных и хозяйственных организаций удостоена в 1983 г. Премии Совета Министров СССР в области науки и техники.

Дальнейшие исследования и работы лаборатории гипсобетона направлены на совершенствование технологии получения ГИШВ из

фосфогипса, уточнение физико-механических свойств получаемых строительных материалов и изделий, расширение сырьевой базы с использованием как природного, так и техногенного сырья, разработку эффективных ресурсосберегающих конструктивных элементов и типов зданий.

## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УСВОЕНИЯ КУСКОВ ТВЕРДЫХ ДОБАВОК ЖИДКОСТЬЮ**

А.С. НОСКОВ, д-р техн. наук, проф.,

А.В. НЕКРАСОВ, канд. техн. наук, доц., Н.В. СЛУЖЕНИКИНА

*Уральский государственный технический университет*

В статье рассматриваются процессы, происходящие при растворении или плавлении твердых добавок в случае высокотемпературных жидкостей (расплавов). Такого рода процессы используются во многих современных технологиях. Ограничимся случаем процессов происходящих в замкнутом пространстве, заполненном жидкостью (например, в резервуаре, реакторе, ковше). Такие процессы существенно отличаются от проточных, где жидкость имеет определенно направленное движение.

В большинстве технологиях предъявляются обычно следующие требования к процессу усвоения твердых добавок:

1. Добавки должны как можно быстрее растворяться (плавиться).
2. Растворившиеся примеси должны как можно более равномерно распределяться по объему жидкости и при необходимости вызывать прохождение вторичных взаимодействий (реакций).
3. В случае взаимодействия добавок с атмосферным воздухом (окисления) необходимо минимизировать время контакта твердой добавки с ним, т.е. время пребывания твердой частицы на свободной поверхности.

Эти три требования могут быть реализованы следующим образом: